

Studies of a FEL undulator performance

Arihiro Okamoto, Toshiyuki Hattori, Yousuke Takahashi, Morio Yoshizawa¹,
Katsuhide Yoshida¹, Fuminori Fujimoto², Yusuke Kojima² and Yoshihide Honda²

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology

Institute for Nuclear Study, University of Tokyo¹

Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University²

ABSTRACT

The basic experiment of free electron laser is being planned using 35 MeV L-band linac facility at ISIR of Osaka University. A Halbach-type pure Nd-Fe-B planar undulator for FEL is constructed and its magnetic field is measured. The particle trajectory is calculated in measured undulator field.

FEL基礎研究用アンジュレーターの特性

1. はじめに

阪大産研35MeV電子ライナックからのビームを利用した遠赤外自由電子レーザー発振の基礎研究用として、コンパクトなアンジュレーターを製作した。試作した平面型アンジュレーターは周期長48mmの30周期のHalbach型で、磁極間を18mm(磁場6.05kG)から50mm(0.75kG)まで変えられる構造である。磁場分布の測定を行い、測定された3次元磁場分布をもとに電子軌道のシュミレーションを行った。電子ビームの収束、エミッタンス入射方法などによる光の利得についての計算結果を報告する予定である。

2. アンジュレーターの設計製作

チューナブル自由電子レーザー光の応用研究対象として、フッ素化合物の同位体分離用レーザー波長10-16 μ mを考えた。30MeV電子ビームによる遠赤外波長と150MeVによるウラン原子法レーザー分離波長の緑色光などを考慮することで、試作アンジュレーターの磁気周期長を48mmと決定した。電子エネルギーが30MeVの時は7 μ mか

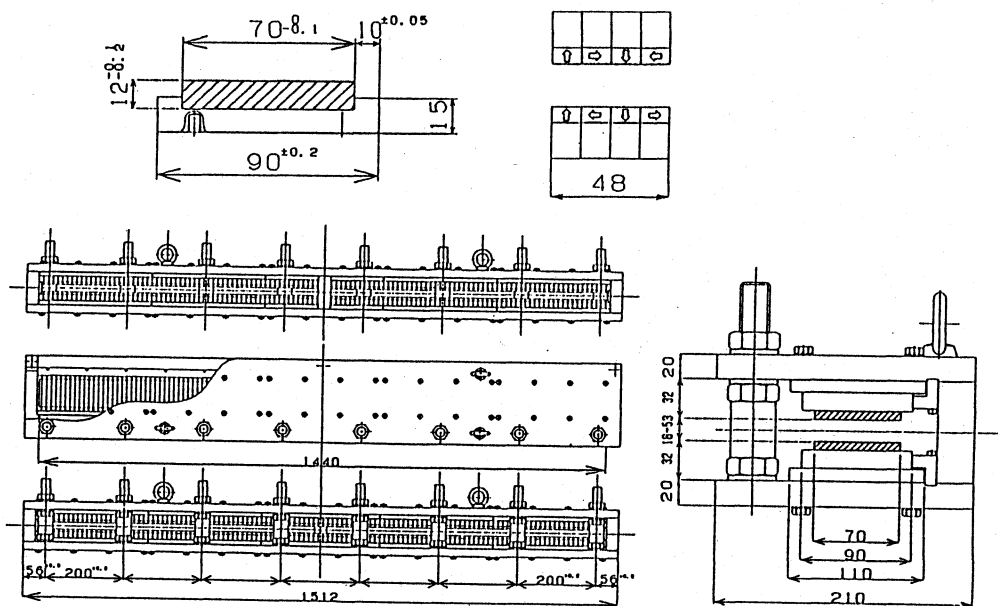


Fig.1 Undulator

ら $21\mu\text{m}$ まで、 150 MeV のときは $0.29\mu\text{A}$ から $0.89\mu\text{A}$ までチューナブルである。

Fig. 1 にアンジュレーターの図を示す。 $12 \times 12 \times 70\text{ mm}$ の N E O M A X - 3 5 H 永

久磁石を用い、周期長 4.8 mm で 30 周期を持った全長 1440 mm の Halbach 型平面アンジュレーターである。 永久磁石は $12 \times 12 \times 70\text{ mm}$ の横、縦励磁と $6 \times 12 \times 70\text{ mm}$ の両端用の 3 種類のピースを製作した。 合計 248 個のピースの中心 10 mm 表面での磁場のばらつき標準偏差は 0.5% であった。 最適手法で各磁石ピースの配置を決定した。 各磁石ピースはアルミ板に接着され、そのアルミ板は 6 周期ごとに上下を含んで 10 枚のステンレス板にビス止めされている。 上下 1 組のステンレス板 5 組をアンジュレーターのいわゆるステンレス製上下ヨーク板にビス止めする構造になっている。 磁石ピース自身の位置微調整はできないが、アルミ基盤付きの磁石ピースを交換することでピーク磁場の均一度を上げることは可能である。

電子ビームが通る真空パイプ位置からアンジュレーター磁場をなくすために、アンジュレーターを 300 mm 後退できるとともに、上下左右、前後 $\pm 10\text{ mm}$ の微動調整が可能である。

3、アンジュレーターの磁場測定

試作アンジュレーターの磁場測定に東大核研 3 次元磁場測定装置を使用した。 この 3 次元駆動装置の駆動範囲はビーム軸 (Z 軸) 方向最大 700 mm 、水平軸 (X 軸) 方向最大 400 mm 、垂直軸 (Y 軸) 方向 100 mm である。 アンジュレーター磁場測定のために Z 軸方向に対

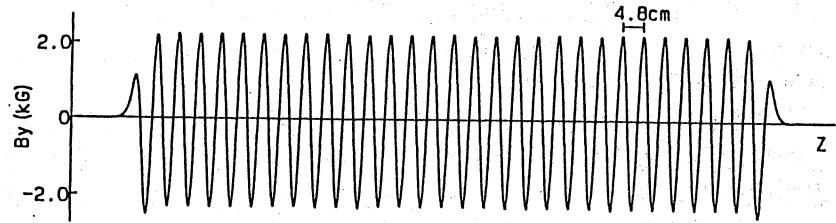


Fig.2 Measured magnetic field on Z axis

して磁場測定範囲を 3 分割して測定した。 3 軸の駆動は $25\mu\text{m}/\text{パルス}$ のパルスモーターで行いギールネジで駆動する構造になっている。 磁場測定は Siemens 社製 PC 3 2 型ホールプローブを使用し、3 次元駆動装置とマイクロコンピュータと組み合わせて測定データをフロッピーディスクに記録する自動測定を行った。

磁石間ギャップ 30 mm の時の中心軸上での Z 軸方向の磁場分布の測定結果を例として Fig. 2 に示す。 磁石間ギャップ 30 mm の時、中心軸上での磁場の標準偏差は 0.8% 以下であった。 水平方向 (X 軸) に沿った垂直方向 (Y 軸) 磁場の測定を Fig. 3 に示す。 また、垂直方向 (Y 軸) に沿った垂直方向 (Y 軸) 磁場の測定値を Fig. 4 に示す。 磁場測定結果によると X 方向の磁場の均一度は電子ビームのサイズに対して十分余裕がある。 しかし Y 軸方向についてはあまりないため、利得の低下が予想されるため、電子ビームの軌道パラメータに注意した軌道計算を行う必要がある。

4、電子の軌道解

試作アンジュレーターの 3 次元磁場測定の結果をもちいて、 30 MeV 電子ビームの軌道計算を行った。 電子ビームのもつビームの X、Y 方向エミッタンスは $\pi\text{ mm} \cdot \text{mrad}$ と仮定し、電子ビーム

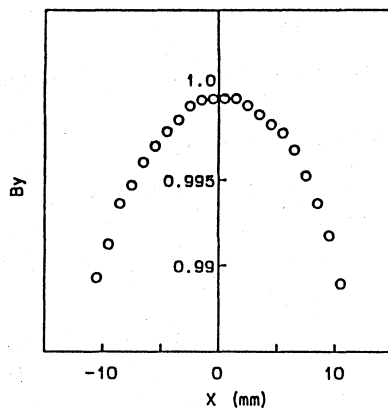


Fig.3 Measured magnetic field on X axis

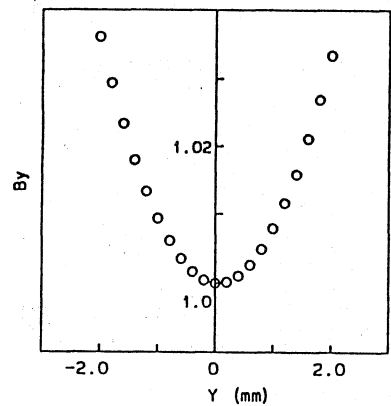


Fig.4 Measured magnetic field on Y axis

はアンジュレーター中心で2mmφに収束するという電子の軌道パラメータとしてアンジュレーター中心で $\alpha_x = \alpha_y = 0$ 、 $\beta_x = \beta_y = 1$ mを仮定して計算を行った。以下の仮定と磁場測定結果による電子の軌道計算の例をFig. 5に示す。

Fig. 5でわかるように、アンジュレーター磁石の両端部における磁場のもれ端部の磁場ピークの中心部との差および磁場ピークの不均一性(標準偏差0.8%)を補正するためにはアンジュレーター入射点で中心点より1.6mm、ふれ角度で約4mradビームが傾いて入射する必要がある。これは入口に微調用ステアリング磁石を置きコイル電流を調整して電子ビームを修正可能である。Fig. 6に3次元の電子軌道計算例を示す。

5. 実験計画と配置

実験計画として阪大産研35MeV電子線形加速器本体室に設置されている遷移放射光発生装置コースに試作アンジュレーターを挿入してK値が1~2での遠赤外自発放射光を観測することからはじめる予定である。自発放射光発生装置の全体図をFig. 7に示す。つぎに電子の軌道解析、自由電子レーザー光学系の解析結果から4重極電磁石の再配置、ビームコースの再配置などを含んで、自由電子レーザー発振の基礎研究を行うことにしている。

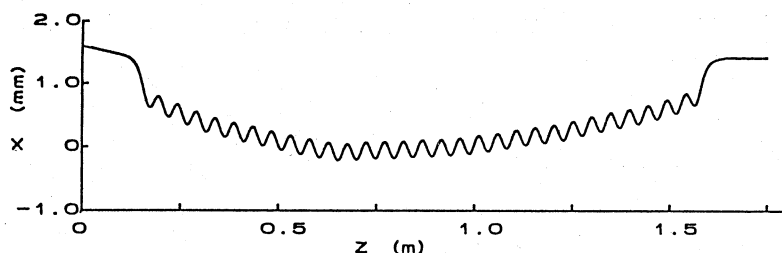


Fig.5 Calculated electron trajectory

Fig 6
アンジュレーター中
の3次元電子軌道

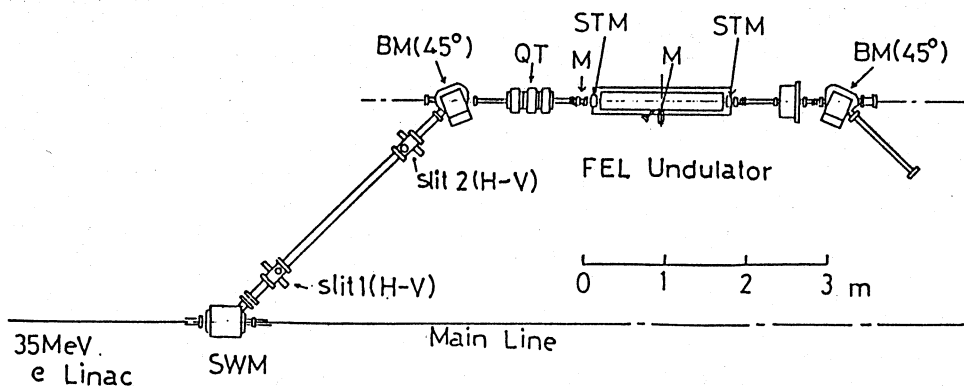
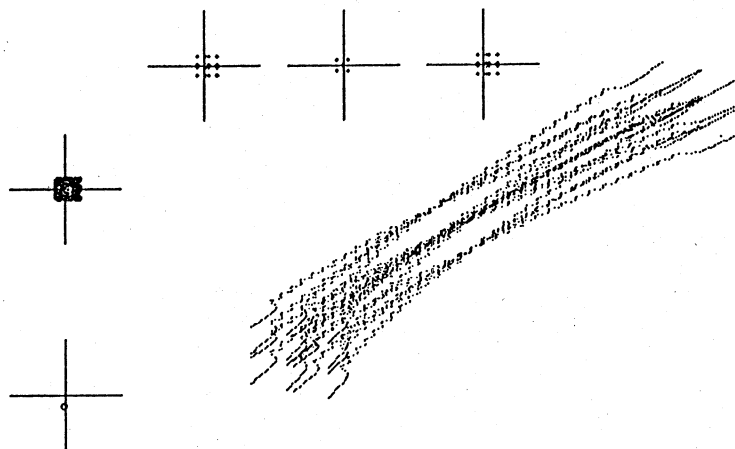


Fig-7 A Plan View of the FEL System